

Список літератури: 1. De Paere, Simon P., Moerkerke I., Hermann J.C. Control of the temperature of the bar on entry to the finisher // ECSC STEEL RTD PROGRAMME. – 2000. – P. 1–9. 2. Trishevskii O. I., Saltavets N. V. Mathematical model of the thermal state of strip in rolling // Steel in translation, 2009 – №2 – Vol 39 – P. 42–44. Allerton Press Inc. 3. Тришевский О. И., Салтавец Н. В. Разработка математической модели теплового состояния валков при прокатке // Сталь, 2011. – №12. – С. 22–23. 4. Коздоба Л. А. Электрическое моделирование явлений тепло- и массопереноса / М.: Энергия. – 1972. – 296 с. 5. Кузьмин М. П. Электрическое моделирование явлений нестационарных процессов теплообмена. / М.: Энергия. – 1974. – 416 с. 6. Турчак Л. И. Основы численных методов. Учебн. пособие. / М.: Наука. – 1987. – 320 с. 7. Целиков А. И., Гришков А. И. Теория прокатки. / М.: Metallurgiya. – 1979. – 358 с. 8. Коновалов Ю. В., Остапенко А. Л. Температурный режим широкополосных станов горячей прокатки. / М.: Metallurgiya. – 1974. – 176 с. 9. Гелеи Ш. Расчёты усилий и энергии при пластической деформации металла. / М.: Metallurgiya. – 1958. – 420 с. 10. Павельски О. // Чёрные металлы, 1969. – №21. С. 13–17. 11. Венцель Х. // Прокатка и прокатное оборудование. (ВИНИТИ. Экспресс-информация), 1965. -№27.- С. 8–43.

1. De Paere, Simon P., Moerkerke I., Hermann J.C. Control of the temperature of the bar on entry to the finisher // ECSC STEEL RTD PROGRAMME. – 2000. – P. 1–9. 2. Trishevskii O. I., Saltavets N. V. Mathematical model of the thermal state of strip in rolling // Steel in translation, 2009 – No 2 – Vol 39 – P. 42–44. Allerton Press Inc. 3. Trishevskiy O. I., Saltavets N. V. Razrabotka matematicheskoy modeli teplovogo sostoyaniya valkov pri prokatke // Stal, 2011. – No 12. – P. 22–23. 4. Kozdoba L. A. Elektricheskoe modelirovanie yavleniy teplo- i massopere nosa / Moscow: Energiya. – 1972. – 296 p. 5. Kuzmin M. P. Elektricheskoe modelirovanie yavleniy nestatsionarnykh protsessov teploobmena. / Moscow: Energiya. – 1974. – 416 p. 6. Turchak L. I. Osnovyi chislennykh metodov. Uchebn. posobie. / Moscow.: Nauka. – 1987. – 320 p. 7. Tselikov A. I., Grishkov A. I. Teoriya prokatki. / Moscow: Metallurgiya. – 1979. – 358 p. 8. Kononov Yu. V., Ostapenko A. L. Temperaturnyy rezhim shirokopolosnykh stanov goryachey prokatki. / Moscow: Metallurgiya. – 1974. – 176 p. 9. Gelei Sh. RaschYoty i usiliy i energii pri plasticheskoy deformatsii metalla. / Moscow: Metallurgiya. – 1958. – 420 p. 10. Pavelski O. // ChYornyye metallyi, 1969. – No 21. P. 13–17. 11. Ventsel H. // Prokatka i prokatnoe oborudovanie. (VINIITI. Ekspress-informatsiya), 1965. – No 27. – P. 8–43.

Надійшла до редакції 05.04.2015 р.

УДК 621.7

В. Л. ЧУХЛІБ, канд. техн. наук, доц., НМетАУ;

Є. С. КЛЕМЕШОВ, аспірант, НМетАУ, Дніпропетровськ;

В. О. ГРИНКЕВИЧ, докт. техн. наук, проф., НМетАУ, Дніпропетровськ;

Х. ДИЯ, докт. техн. наук, проф., Політехніка Ченстоховська, Ченстохова, Польща

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИ ПРОТЯЖЦІ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ З МЕТОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ КУВАННЯ

Якість поковок повинна забезпечувати високі показники механічних властивостей. Тому метою даної статті є дослідження впливу характеристик параметрів процесу протяжки (схеми кантувань) на схему напружено-деформованого стану поковки (розподілення напруг та деформацій) з титанового сплаву за допомогою математичного моделювання. Результатом дослідження є залежності нерівномірності розподілення деформацій в металі. При порівнянні впливу сумарного ступеню деформації при куванні визначено, що оптимальним сумарним ступенем деформації є 10%.

Ключові слова: титан; сплав; міцність; якість; схема кантувань; розподілення напруг; розподілення деформацій

© В. Л. Чухліб, Є. С. Клемешов, В. О. Гринкевич, Х. Дия, 2015

Постановка проблеми. Якість поковок повинна забезпечувати високі показники механічних властивостей, а саме меншу нерівномірність розподілення механічних властивостей в об'ємі металу. Механічні властивості в свою чергу, в більшій мірі, залежать від способу обробки металу. Спосіб обробки металу в даному дослідженні – є процес вільного кування, а саме процес ковальської витяжки (протяжка). Цим способом обробки металу неможливо досягти рівномірного розподілення механічних властивостей в об'ємі металу, тому за допомогою варіювання параметрів процесу вільного кування можна досягти найменшої нерівномірності напружено-деформованого стану в процесі кування.

Основними параметрами процесу ковальської витяжки є: відносна або абсолютна подача, сумарний ступінь деформації за прохід, схема протяжки та кути кантування. Також невід'ємною частиною цих параметрів є дотримання температурного інтервалу кування. Усі ці параметри мають вплив на рівномірність напружено-деформованого стану.

Тому, згідно вищесказаному, підвищення якості поковок завжди є найактуальнішою проблемою досліджень процесів обробки металів тиском.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Однією із проблем вільного кування є збереження ресурсів, тобто метою більшості наукових робіт є удосконалення технології шляхом збільшення коефіцієнту використання металу та коефіцієнту використання тепла нагріву перед куванням, а також підвищення якості продукції. Ці питання розглянуто в підручнику [1]. Є багато матеріалу по темі вільного кування, а саме виготовлення поковок із застосуванням операції ковальської витяжки. Зокрема, типові схеми кантувань та обтиснень процесу ковальської витяжки, розрахунки переходів розглянуто в підручнику [2]. Однією з робіт, в якій розглянуто кування заготовки в комбінованих бойках з різним кутом вирізу, та на основі теоретичних і експериментальних даних отримані графіки для визначення діапазону діаметрів, в якому можна отримати поковки заданих розмірів на даній парі бойків є робота Назар'яна В.А. [3]. Під розмірами поковок мається на увазі діаметри поковок. Також за цими графіками можна визначити розміри бойків для протяжки на заданий діаметр з певним числом і величиною проміжних діаметрів. Також важливе дослідження проведено в роботі [4] по визначенню

мінімального кута кантування. В цій роботі приведена методика визначення мінімального кута кантування, тобто кута кантування при якому не здійснюється прокручування заготовки в бойках. Також в цій роботі наведені деякі режими кантувань для отримання поковок з визначеною кількістю граней.

Методики для визначення впливу термічного розігріву металу приведені в роботі [5]. В цій роботі досліджено вплив термічного розігріву металу на рівень середніх нормальних напружень в зоні деформації, однак ці дослідження проведені зі злитками які мають велику масу та зроблені зі сталі 45.

Також в роботі [6] наведені експериментальні дані та графіки по розподіленню та інтенсивності деформації в середньому перерізі зони деформації в залежності від таких змінних факторів як ступінь деформації, відносна подача та кут вирізу нижнього бойка.

Методики розрахунку напруг в зоні деформації при варіюванні параметрів ковальської витяжки в вирізних та комбінованих бойках розглянуто в роботі [7]. Також методики розрахунку впливу кута вирізу нижнього бойка на напружено-деформований стан металу в зоні деформації розглянуто у підручнику [8].

Найбільш цікаве дослідження виконане в роботі [9], в якій приведені експериментальні дані про вплив технологічних параметрів процесу протяжки на якість поковок з титанових сплавів. Ці дослідження проводилися в умовах металургійного заводу. Заготовки були зроблені зі сплаву титану ВТ9 та відковувалися при варіюванні відносної подачі, кута кантування та одиничного обтиснення. Якість металу з різних експериментальних партій порівнювалася для визначення кращого співвідношення параметрів кування.

Більшість робіт, які розглянуто вище, присвячена дослідженню процесу кування сталених заготовок, однак в наш час все більше уваги приділяється титановим заготовкам. Експериментальне визначення напружено-деформованого стану поковки при куванні є досить складним, тому вирішено використати математичне моделювання для дослідження цього процесу.

Постановка задачі. Головною метою даної роботи є визначення впливу параметрів процесу ковальської витяжки на напружено-деформований стан поковки з метою поліпшення механічних властивостей.

Для моделювання процесу вільного кування в Forge 2008® були задані параметри реального процесу кування поковок з титанового сплаву.

Вихідною заготовкою є титановий злиток зі сплаву ВТ6 діаметром 400 мм і довжиною 1450 мм. Маса вихідного злитка дорівнює 790 кг. Кінцевим виробом є поковка діаметром 187 мм і довжиною 3013 мм.

Також згідно технологічного процесу обраний оптимальний температурний інтервал для даного сплаву титану. Температурний інтервал кування становить 1150–850°C для першого етапу кування, та 980–780°C для другого етапу кування. Відповідно до технології кування титану необхідний підігрів інструменту для зменшення теплових витрат поковки. В даному випадку бойки підігріті до 300°C. При моделюванні використовуються комбіновані бойки – верхній плоский, а нижній вирізний. Розвал вирізу нижнього бойка становить 450 мм, а глибина вирізу – 160 мм на першому етапі кування, а на другому етапі кування нижній бойок замінюють на бойок з розвалом вирізу 250 мм та глибиною вирізу 100 мм.

Спочатку було запропоновано схему кантувань №1 (схема I), яка представляє собою схему кантувань «по кільцю» із 6 обтисненнями, тобто первинне обтиснення, потім два обтиснення з кантуванням на 120°, потім три обтиснення з кантуванням на 60°. Параметром, який варіювався, був сумарний ступінь деформації за прохід, і складав 10%, 20% та 30%.

Однак при моделюванні процесу вільного кування в програмі Forge 2008® за двома схемами деформації, які описані вище, створювалася велика об'ємна нерівномірність деформації (рис. 1), що призводило до вигину заготовок та неможливості подальшого моделювання процесу.

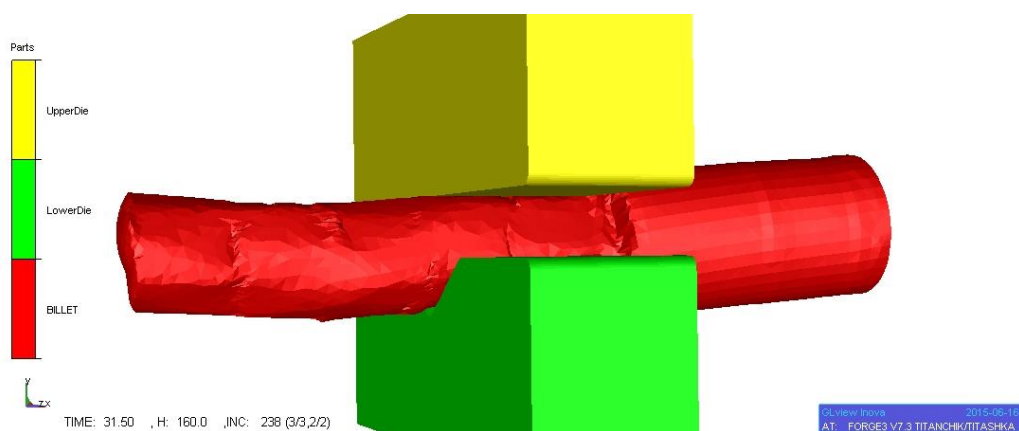


Рис. 1 – Об'ємна нерівномірність деформації металу при куванні за схемою I

Тому була запропонована схема кантувань №2 (схема II), яка представляє собою поліпшену схему I, тобто схему кантувань «по кільцю» із 16 обтисненнями: первинне обтиснення, потім два обтиснення з кантуванням на 120° , потім три обтиснення з кантуванням на 60° і десять обтиснень з кантуванням на 15° .

Запропонована схема II створювала набагато меншу об'ємну нерівномірність деформації металу, тому була обрана для подальшого моделювання процесу. Моделювання процесу вільного кування за схемою II було здійснено при 10% та 20% сумарного ступеню деформації. Для аналізу результатів моделювання було зроблено нарізки поперечних перерізів заготовки під час деформації. Нарізки виконано таким чином, як показано на рис. 2.

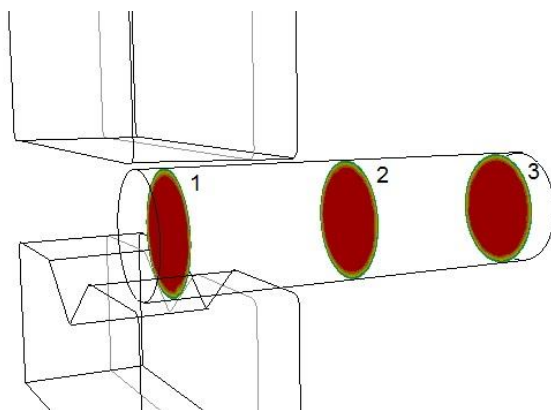


Рис. 2 – Поперечні перерізи на початку заготовки, в середині заготовки та в кінці заготовки для кожного проходу по довжині

Розподілення напруг та деформацій в поперечних перерізах при куванні за схемою II представлено на рис. 3 та рис. 4.

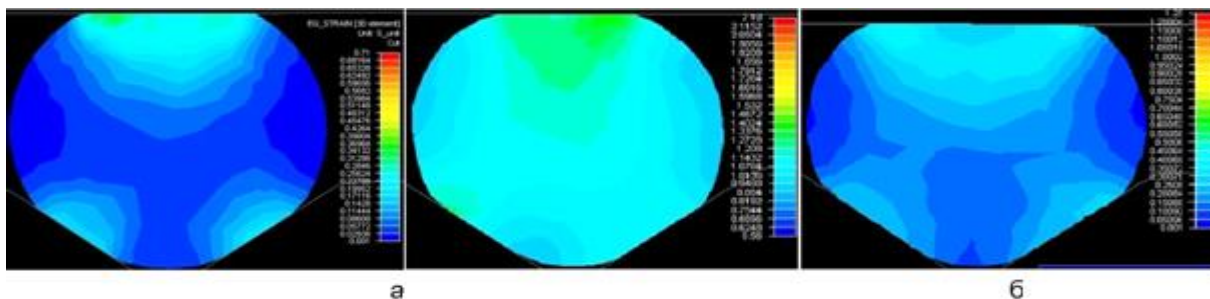


Рис. 3 – Розподілення деформацій при протяжці заготовки при 10% та 20% сумарного ступеню деформації; схема II: а – розподілення деформацій при першому і другому проході по довжині при 10% сумарної деформації; б – розподілення деформацій при 20% сумарної деформації

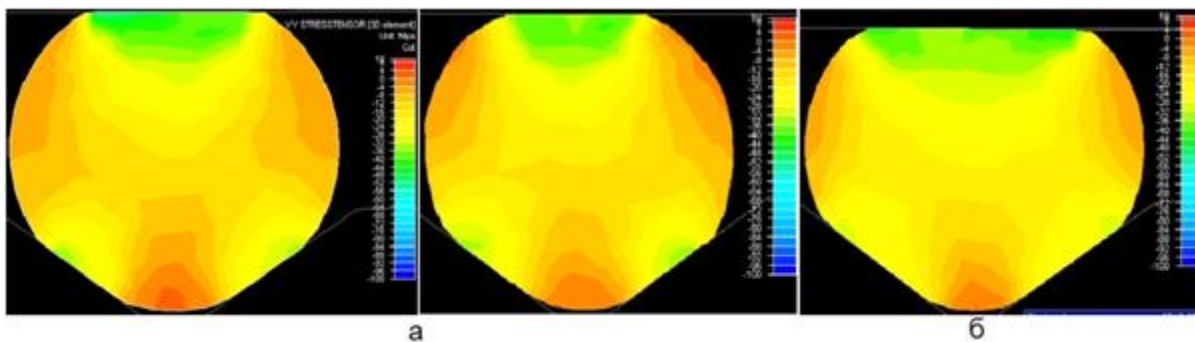


Рис. 4 – Розподілення напруг при 10% та 20% сумарного ступеню деформації; схема II: а – розподілення напруг при першому і другому проході по довжині при 10% сумарної деформації; б – розподілення напруг при 20% сумарної деформації

Рівномірність розподілення деформацій в металі визначається як можна меншою відмінністю показників деформації між собою в перерізі.

Щоб кількісно оцінити нерівномірність розподілення деформацій в поперечних перерізах був розрахований показник нерівномірності деформації K_n . Показник нерівномірності деформації може мати приймати значення не більше одиниці, так як є відношенням показників еквівалентної деформації в контрольних точках перерізу до максимального значення еквівалентної деформації в перерізі. Після того як було знайдено максимальне значення в перерізі, відносно цієї точки будувалося 4 діагоналі які розташовані під кутом 45° одна до одної. Далі на кожен діагональ було нанесено 6 контрольних точок симетрично до точки з максимальним значенням та симетрично до центру перерізу.

Більш детальний аналіз нерівномірності розподілення деформацій проведено за допомогою побудови графіків. На графіках зображено показники нерівномірності деформації в контрольних точках на діагоналях перерізу.

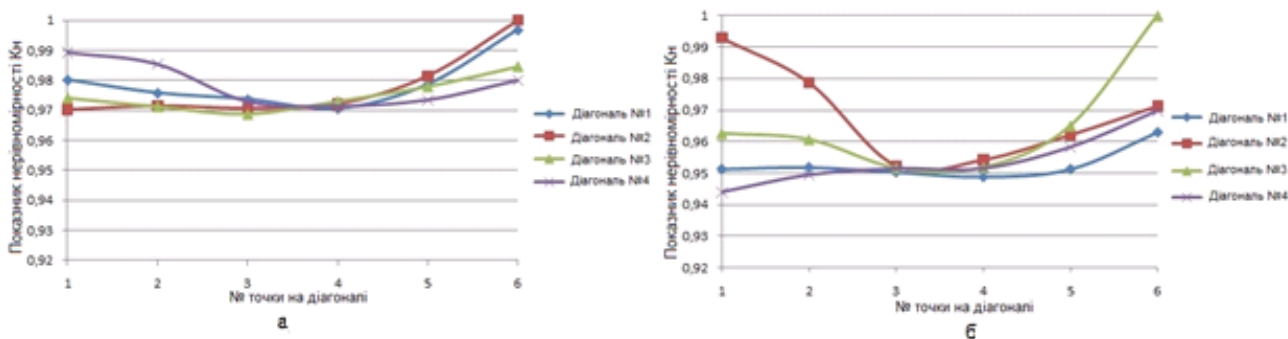


Рис. 5 – Розподілення нерівномірності деформації в поперечному перерізі заготовки: а – при куванні з 10% сумарного ступеня деформації та б – при куванні з 20% сумарного ступеня деформації

Зі збільшенням сумарного ступеню деформації, як видно з рис. 5, нерівномірність розподілення деформацій, від осьової частини поковки до її периферії, також збільшується. Але у випадку кування при 10% сумарного ступеню деформації спостерігається менша нерівномірність розподілу деформації в об'ємі металу, так як найменше значення показника нерівномірності деформації дорівнює 0,97 в порівнянні з 0,945 для випадку кування при 20% сумарного ступеню деформації за схемою II.

В повздовжньому перерізі було взято 15 контрольних точок розташованих на однаковій відстані одна від одної. Значення показника нерівномірності в точках приведено на рис. 6.

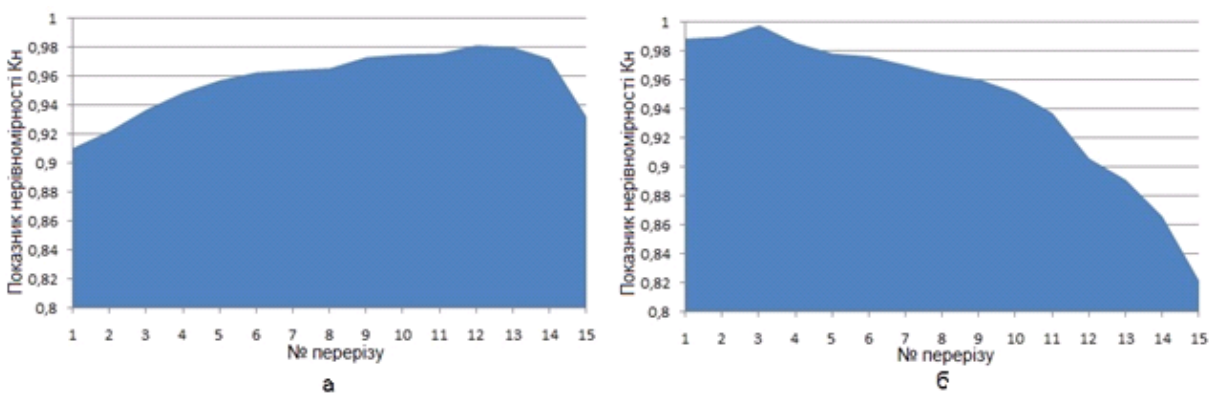


Рис. 6 – Розподілення нерівномірності деформації в повздовжньому перерізі заготовки: а – при куванні з 10% сумарного ступеню деформації та б – при куванні з 20% сумарного ступеню деформації

Кування при 10% сумарного ступеню деформації створює меншу нерівномірність розподілення деформацій по довжині заготовки, як видно з рис. 6, тобто крива на рис. 6, а, є більш пологою та має менший мінімальний показник нерівномірності деформації (0,91 у порівнянні з 0,82 для кування при 20% сумарного ступеню деформації).

Висновки проведеного дослідження.

1) В сучасному виробництві поковок валів не існує визначеної схеми кантувань, тому в даній роботі запропоновано схему II для оптимізації технології виробництва.

2) Більш оптимальним є кування при 10% сумарного ступеню деформації за схемою II, яка забезпечує меншу нерівномірність розподілення деформацій в об'ємі металу.

3) Кування титанових заготовок необхідно здійснювати при менших обтисненнях для отримання меншої нерівномірності розподілення деформацій в металі, і як наслідок – меншої нерівномірності розподілення механічних властивостей в об'ємі металу.

4) Дані цього дослідження можна використати для написання програм для автоматизованих кувальних комплексів, або використати на підприємствах для отримання титанових поковок.

Список літератури: 1. *Стасовський Ю.М.* Ресурсозбереження та екологія в процесах обробки металів тиском: Підручник / Ю.М. Стасовський, В.Л. Чухліб, В.В. Бояркін. – Дніпропетровськ: Пороги, 2013. – 353 с. 2. *Соколов Л.М.* Технологія кування: підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів / Л.М. Соколов, І.С. Алієв, О.Є. Марков, Л.І. Алієва. – Краматорськ: ДДМА, 2011. – 268 с. 3. *Назар'ян В.А.* Алгоритм назначенія режимов ковки при протяжке в вырезных и комбинированных бойках // Кузнечно–штамповочное производство. Обработка метал лов давлением. 1997. №9. С. 8–11. 4. *Назар'ян В.А.* Оптимизация процесса кузнечной протяжки / В.А. Назар'ян, О.М. Маракушина // Кузнечно–штамповочное производство. Обработка метал лов давлением. 1998. №4. – С. 22–30. 5. *Антощенко Ю.М.* Связь напряжений с тепловым состоянием металла при ковке // Кузнечно–штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2002. №5. С. 12–17. 6. *Мохов А.И.* Повышение качества деформированного металла при ковке крупных поковок валов / А.И. Мохов, В.С. Максимук, А.Ю. Петунин, С.И. Данилин // Кузнечно–штамповочное производство. Обработка метал лов давлением. 1995. – №5. С. 5–7. 7. *Назар'ян В.А.* Расчет напряженного состояния при ковке–протяжке заготовок круглого сечения // Кузнечно–штамповочное производство. Обработка метал лов давлением. 1998. №6. – С. 13–16. 8. *Кальченко П.П.* Новые технологические процессы ковки крупных прессовых поковок.: монография / П.П. Кальченко, О.Е. Марков – Краматорск: ДГМА, 2014. – 100 с. 9. *Машеков С.А.* Влияние технологических параметров ковки на качество заготовок из титановых сплавов / С.А. Машеков, В.А. Петров, А.В. Котелкин // Кузнечно–штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 1991. – №9. С. 4–5.

Bibliography (transliterated): 1. *Stasovs'kyu Yu.M.* Resursozberzhennya ta ekolohiya v protsesakh obrobky metaliv tyskom: Pidruchnyk / Yu.M. Stasovs'kyu, V.L. Chukhlib, V.V. Boyarkin. – Dnipropetrovs'k: Porohy, 2013. – 353 p. 2. *Sokolov L.M.* Tekhnolohiya kuvannya: pidruchnyk dlya studentiv vyshchyykh tekhnichnykh navchal'nykh zakladiv / L.M. Sokolov, I.S. Aliyev, O.Ye. Markov, L.I. Aliyeva. – Kramators'k: DDMA, 2011. – 268 p. 3. *Nazar'yan V.A.* Alhorytm naznachenyya rezhymov kovky pry protyazhke v vyreznykh y kombynurovannykh boykakh // Kuznechno–shtampovochnoe proyzvodstvo. Obrabotka metal lov davlenym. 1997. – No 9. – P. 8–11. 4. *Nazar'yan V.A.* Optymyzatsyya protsessa kuznechnoy protyazhky / V.A. Nazar'yan, O.M. Marakushyna // Kuznechno–shtampovochnoe proyzvodstvo. Obrabotka metal lov davlenym. 1998. – No 4. – P. 22–30. 5. *Antoshchenkov Yu.M.* Svyaz' napryazhenyy s teplovyim sostoyanyem metalla pry kovke // Kuznechno–shtampovochnoe proyzvodstvo. Obrabotka metallov davlenym. 2002. – No 5. – P. 12–17. 6. *Mokhov A.Y.* Povyshenye kachestva deformyrovannoho metalla pry kovke krupnykh pokovok valov / A.Y. Mokhov, V.S. Maksymuk, A.Yu. Petunyn, S.Y. Danylyn // Kuznechno–shtampovochnoe proyzvodstvo. Obrabotka metal lov davlenym. 1995. – No 5. – P. 5–7. 7. *Nazar'yan V.A.* Raschet napryazhenoho sostoyanyya pry kovke–protyazhke zahotovok kruhloho sechenyya // Kuznechno-shtampovochnoe proyzvodstvo. Obrabotka metal lov davlenym. 1998. – No 6. – P. 13–16. 8. *Kal'chenko P.P.* Novyye tekhnolohycheskye protsessy kovky krupnykh pressovykh pokovok.: monohrafiyya / P.P. Kal'chenko, O.E. Markov – Kramatorsk: DHMA, 2014. – 100 p. 9. *Mashekov S.A.* Vlyyanye tekhnolohycheskykh parametrov kovky na kachestvo zahotovok yz tytanovykh splavov / S.A. Mashekov, V.A. Petrov, A.V. Kotelkyn // Kuznechno–shtampovochnoe proyzvodstvo. Obrabotka metallov davlenym. 1991.– No 9. – P. 4–5.

Поступила (recieved) 28.10.2015